

Effet d'un agent tensioactif sur le comportement rhéologique d'un pétrole brut Algérien

D E. Djemiat^a, A. Safri^b, A. Benmounah^c

- a. Laboratoire LEGHYD, FGC, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Alger, Algérie, email : ddjemiat@usthb.dz
- b. Laboratoire LEGHYD, FGC, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Alger, Algérie, email : absafri@gmail.com
- c. UR-MPE, FSI, Université M'Hamed Bouguerra, Boumerdes, Algérie, email : benmounah2000@yahoo.fr

...

Résumé :

Différentes méthodes expérimentales de réduction de la viscosité du pétrole brut ont été étudiées pour améliorer les propriétés d'écoulement. Dans cette étude, nous avons utilisé du Toluène pour réduire la viscosité. Les essais rhéologiques ont été réalisés en utilisant le rhéomètre AR2000 de TA-Instruments à différentes températures 10 °C, 15 °C et 20 °C. Plusieurs concentrations de l'additif ont été testées, 2%, 3% et 5%. Les points expérimentaux des courbes d'écoulement du pétrole brut montrent un comportement non-newtonien qui peut être décrit par la loi Herschel-Bulkley. Les résultats expérimentaux montrent que la température influe considérablement sur l'évolution des courbes d'écoulement et provoque une diminution de la viscosité apparente du pétrole brut. Cette étude montre que le Toluène utilisé a un effet significatif sur la réduction de la viscosité apparente de pétrole brut algérien. Les résultats sont présentés et discutés.

Abstract:

Various experimental methods of reduction of the viscosity of crude oil were studied to improve the properties of flow. In this study, we used Toluene to reduce viscosity. The rheological tests were carried out by using rheometer AR2000 of TA-Instruments at various temperatures 10 °C, 15 °C and 20 °C. Several concentrations of the additive were tested, 2%, 3% and 5%. The experimental points of crude oil showing a non-Newtonian behavior that can be described by the Herschel-Bulkley law. Experimental results show that the temperature significantly influences the evolution of the flow curves and causes a decrease in the apparent viscosity of the crude oil. This study shows that the Toluene used has a significant effect on the reduction of the apparent viscosity of Algeria crude oil. The results are presented and discussed.

Mots clefs: crude oil, rheological behavior, viscosity, yields stress

1 Introduction

Le transport de pétrole brut par pipeline est le moyen le plus pratique et économique pour le transport de pétrole brut et de ses produits. En effet, dans l'industrie pétrolière, la viscosité du pétrole brut joue un rôle important dans les calculs de l'écoulement du fluide à travers la roche réservoir, la perte de pression (avec des implications pour la conception des tubes et pipelines), et la conception des installations de surface [1]. Par conséquent, différentes méthodes sont utilisées afin de réduire la viscosité du brut pour but d'améliorer son transport par pipeline. Par exemple, la dilution du brut lourd avec des bruts plus légers ou des alcools, le chauffage et l'utilisation de tensioactifs pour stabiliser les émulsions sont certaines de ces méthodes utilisées [2], [3], [4] et [5]. Il est largement connu que les interactions entre les molécules d'asphaltènes contribuent à la viscosité des huiles brutes. L'objectif principal de cette étude est d'étudier l'effet de l'addition de toluène sur les propriétés rhéologiques du pétrole brut contenant près de 2,5% d'asphaltènes sur la viscosité du pétrole brut.

2 Matériaux et méthodes

2.1 Matériaux

Le brut utilisé est récupéré dans la région d'Illizi. Les caractéristiques physico-chimiques de l'huile brut utilisée, telles que la densité, la teneur en eau, et le bitume ont été déterminées sur le site et sont représentées dans le tableau 1. Le composé de toluène utilisé dans cette étude a été acheté auprès de la société Aldrich Chemical. La figure 1 montre la structure chimique du composé. Plusieurs concentrations de cet additif ont été testées, 2%, 3% et 5%.

Tableau 1. Caractéristiques du pétrole brut utilisé dans cette étude.

Caractéristiques des échantillons	
API gravity	32.7
Densité du brut (26°)	0.847
TVR (35.5°)	339
BSW %	0.05

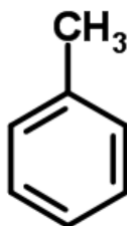


Fig. 1: Structure chimique du Toluène utilisé.

Le composé est choisi pour sa structure de type anneau. La présence de π -électrons dans l'anneau peut jouer un rôle dans l'interaction entre le composé ajouté et les n électrons dans les systèmes poly aromatiques des agglomérats asphaltènes [6]. Les échantillons de pétrole brut / tensioactifs a été homogénéisé en secouant dans un modèle incubateur agitateur Heidolph M. 3001k à 100 tours par minute et à 25 °C pendant 5 min.

3 Mesures rhéologiques

Les paramètres rhéologiques ont été mesurés en utilisant le rhéomètre AR 2000 de TA-Instruments-à géométrie Couette (diamètre 14 mm). En raison de sa grande surface, nous pouvons obtenir une bonne précision avec ce type de dispositif et les mesures peuvent être obtenues même pour les faibles valeurs de la viscosité. Tous les échantillons seront soumis à un pré-cisaillement de 60 s, avec un taux de cisaillement $0,15 \text{ s}^{-1}$ pour homogénéiser l'échantillon dans la géométrie [4] et [7]. Les échantillons seront laissés au repos pendant 30 secondes. Ensuite, la procédure d'acquisition est démarrée. La gamme de taux de cisaillement appliqué est de $0,01 \text{ s}^{-1}$ à 500 s^{-1} . Plusieurs températures seront testées, 10°C , 15°C et 20°C .

4 Résultats et discussions

4.1 Etude rhéologique du système: pétrole brut/ toluène

Les courbes de la Figure.1, montre le caractère non-newtonien pseudo-plastique, à savoir, il n'y a pas d'écoulement, lorsque la contrainte de cisaillement appliquée est inférieure à une (valeur critique). On peut observer que les courbes d'écoulement présentent des tendances similaires pour toutes les températures testées, une augmentation progressive de la contrainte de cisaillement est observée avec l'augmentation du taux de cisaillement.

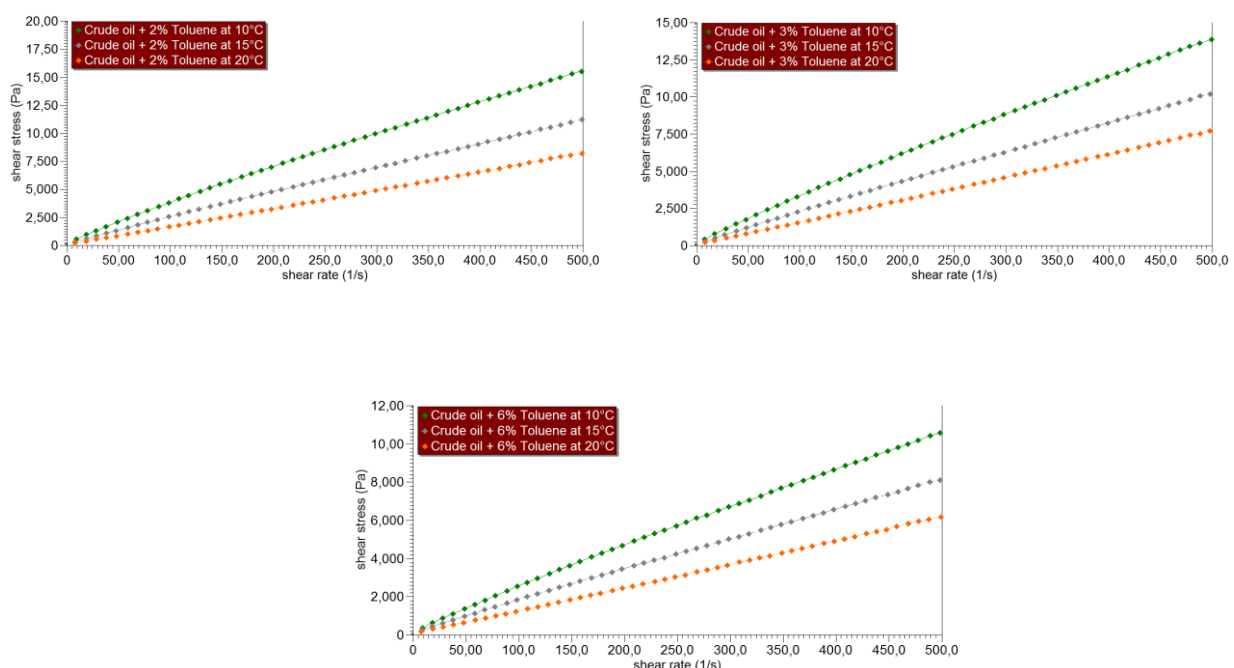


Fig. 1: courbes d'écoulement de pétrole brut Algérien traitée à des températures différentes.

Il a été constaté expérimentalement que la contrainte de cisaillement diminue lorsque la température augmente et que la viscosité diminue avec l'augmentation de la température. La contrainte seuil ainsi a diminuée avec l'augmentation de la température (table3).

La figure 1 montre que l'efficacité de l'additif est significative au taux de cisaillement élevés. Ceci peut être attribué à la perturbation exercée par cisaillement élevé sur le mécanisme de l'interaction de l'agent tensioactif avec la structure de pétrole brut [8].

4.2 Effet du Toluène et de la température sur la contrainte de cisaillement

La contrainte de cisaillement du pétrole brut en présence de 2%, 3% et 6% de l'agent tensioactif pour des températures comprises entre 10 et 20 ° C à 250 S⁻¹ sont résumées dans le tableau 2. Il est évident qu'en augmentant la concentration de l'agent tensioactif, la contrainte de cisaillement diminue considérablement par exemple (8,550 Pa à 2% à 5,713 Pa à 6% à 10 ° C) à 20 ° C la température, alors que (de 4,041 Pa à 2% à 3,036 Pa). Les résultats ont montré que la température affecte la contrainte de cisaillement, cette dernière est réduite pour chaque concentration de Toluène.

Tableau 2 : Contrainte de cisaillement (Pa) du pétrole brut traité à un taux de cisaillement de 250 s⁻¹ avec différentes concentrations de toluène

Pétrole brut	Concentration de Toluène	10°C	15°C	20°C
	2%	8,550	5,857	4,041
	3%	7,484	5,309	3,794
	6%	5,713	4,231	3,036

En général, la contrainte de cisaillement de l'huile brut utilisée est réduite presque de moitié lorsque la température passe de 10 à 20 ° C, ceci est valable pour toutes les concentrations.

4.3 Effet du Toluène sur le seuil d'écoulement

Le seuil de l'écoulement est une contrainte limite, au-dessous de laquelle, l'échantillon se comporte comme un solide. En vertu de cette valeur, la déformation élastique disparaît lorsque la contrainte appliquée est atteinte [2], [9]. Le modèle de Herschel-Bulkley a été utilisé pour déterminer la contrainte seuil pour chaque échantillon à différentes concentrations de l'additif. Les résultats sont représentés dans le tableau 3.

Tableau 3: Evolution du seuil d'écoulement et de son taux de réduction en fonction de la température et de la concentration en toluène.

Temp (°C)	Seuil de l'écoulement (Pa)				% Réduction du seuil de l'écoulement		
	Sans additif	Avec additif			Avec additif		
		2%	3%	6%	2%	3%	6%
10	1,093	0,8628	0,7734	0,7624	21,06	29,24	30,24
15	0,9380	0,7206	0,6426	0,6063	23,17	31,49	35,36
20	0,6337	0,1287	0,4343	0,3984	79,69	31,46	37,13

Du tableau 2, on observe que le seuil de l'écoulement diminue considérablement avec la température, il est réduit à peu près de moitié lorsque l'échantillon est chauffé de 10 à 20 ° C. le taux de réduction du seuil d'écoulement est accru avec l'augmentation de la température de 10 ° C à 20 ° C, qui peut être

provoquée par l'effet de la température sur la structure des composants chimiques qui se traduit par la destruction des structures ordonnées de composants lourds dans la phase de pétrole brut, et de réduire par conséquent le seuil de l'écoulement du pétrole brut [2] et [8].

Pour tous les concentrations du tensioactif utilisé dans notre étude, le taux de réduction maximum obtenu est 79,69%, correspondant à l'addition de 2% de tensioactif à 20 ° C. A 10 ° C et 15 ° C l'addition de 3% et 6% d'agent tensioactif diminue la valeur de la contrainte seuil, de 29,24% et 35,36% respectivement. On peut dire que la présence de tensio-actif dans le pétrole brut réduit considérablement le seuil de l'écoulement qui rend le début de l'écoulement facile.

4.4 Effet de la température sur la viscosité du brut sans additif

La température est considérée comme un paramètre important pour mieux comprendre les propriétés structurales et rhéologiques de pétrole brut, en échelle logarithmique, nous avons présente la viscosité apparente par rapport à la vitesse de cisaillement, à partir de laquelle on voit que la viscosité apparente diminue avec l'augmentation de vitesse de cisaillement pour toutes les températures de test et que le taux de diminution est abaissée avec une augmentation de la température.

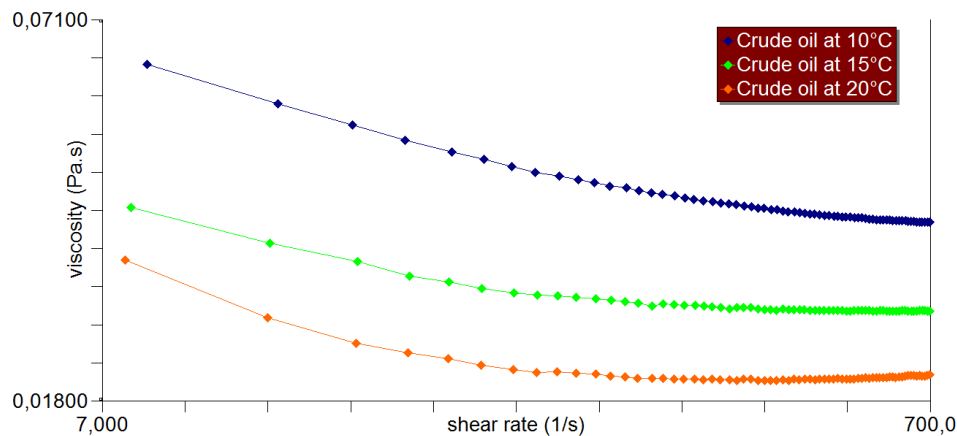


Fig 2: Effet de la température sur la viscosité du pétrole brut sans additif.

Il a été observé que la viscosité présente une variation plus grande à des vitesses de cisaillement plus faibles par rapport aux vitesses de cisaillement plus élevées. Cela peut se expliquer par: Avec l'augmentation de température, les composants de poids moléculaire élevé du pétrole brut, tel que des asphaltenes, résines, cires, etc. [2]. Ne sont pas en mesure de s'agglomérer et former des agrégats et donc la rupture du lien entre les particules solides, ce qui conduit à la réduction de la viscosité, tandis que des taux de cisaillement élevés la viscosité devient constante en raison de la stabilisation des structures de cire et des asphaltenes.

4.5 Effet de l'addition du surfactant sur la viscosité

Les résultats de la viscosité apparente du pétrole brut / agent tensio-actif à la température 10 °C, 15 °C et 20 °C, à la vitesse de cisaillement dans la plage de 0 à 500 s⁻¹ sont présentés dans le tableau 4, et sont représentés graphiquement sur la figure 3. De toute évidence, Le tensioactif réduit la viscosité du pétrole brut et les résultats dépendent de la concentration de l'additif.

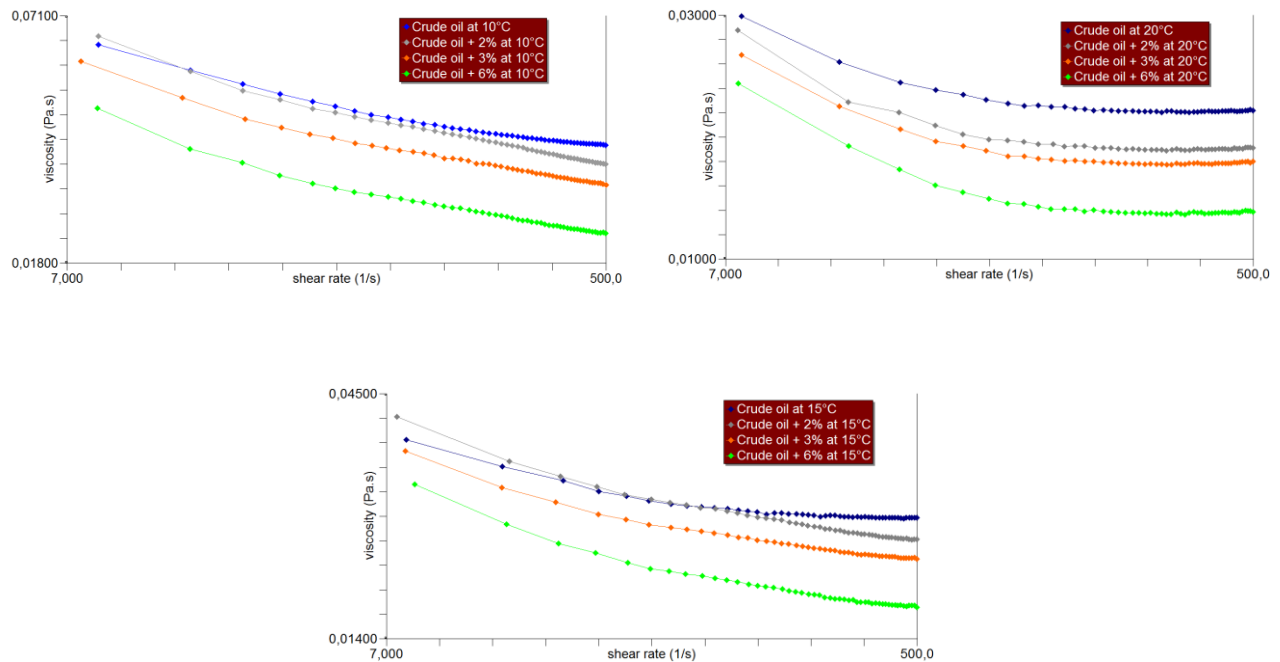


Fig 3: Effet de la température sur la viscosité du pétrole brut avec additif.

Il a été observé que la viscosité présente une variation plus grande à des vitesses de cisaillement plus faibles par rapport aux vitesses de cisaillement plus élevées. Cette réduction dépend non seulement de la concentration du Toluène, mais aussi de la température d'essai et le taux de cisaillement appliqué. Ceci est conforme avec les travaux d'El Gamal [10]. Selon ces figures, il convient de noter que le taux de réduction de la viscosité peut augmenter avec l'augmentation de la concentration du tensioactif dans la solution, en particulier à 6%. L'agent tensio-actif a également été efficace pour réduire la viscosité de manière significative à plus haute température. On a observé que le taux de diminution est une fonction croissante de la concentration, mais tend toujours à la valeur asymptotique à de fortes contraintes de cisaillement. Une réduction importante de la viscosité apparente a été observée pour toutes les concentrations d'additif. Toutefois, à des valeurs de taux de cisaillement supérieur à 250 s⁻¹ (Figure 3), il y a une réduction de la viscosité apparente à 10 °C et 15 °C pour une concentration en solution de 2% de toluène. Mais, à des valeurs de vitesse de cisaillement inférieure à 250 s⁻¹, aux mêmes températures, la réduction de la viscosité est négligeable. La variation de la viscosité avec la concentration de l'additif à 10 °C et 15 °C et 20 °C est représentée sur la Figure 3.

6. Conclusion

Dans le présent travail, les résultats expérimentaux de pétrole brut avec ou sans agent tensio-actif montrent que:

- Le comportement rhéologique du pétrole brut algérien a montré que le fluide étudié est de type non-newtonien et correspond au modèle rhéologique de Herschel-Bulkley (rhéofluidifiant).
- La viscosité de l'huile brut diminue de manière significative avec la température et avec l'augmentations de la vitesse de cisaillement dans la plage de températures 10 °C et 15 °C et 20 ° C.
- Le seuil d'écoulement diminue en augmentant la température et la concentration de l'additif.
- Le taux de réduction de la viscosité, le seuil d'écoulement et la contrainte de cisaillement sont en fonction de la concentration de l'agent tensioactif dans la solution.
- L'efficacité de l'agent tensioactif sur les paramètres rhéologiques du pétrole brut est fortement affectée par le taux de cisaillement appliqué.
- L'augmentation de la température a également un effet positif sur l'efficacité de l'additif car il diminue la viscosité et le seuil d'écoulement du pétrole brut.

Références

- [1] O . Alomair, A. Elsharkawy, H . Alkandari, A viscosity prediction model for Kuwaiti heavy crude oils at elevated temperatures. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. (2014) 120:102-10.
- [2] SW. Hasan, MT. Ghannam, N. Esmail, Heavy crude oil viscosity reduction and rheology for pipeline transportation. *Fuel*. 2010;89:1095-100.
- [3] EE. Johnsen, HP.Rønningsen, Viscosity of 'live' water-in-crude-oil emulsions: experimental work and validation of correlations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2003;38:23-36.
- [4] MT. Ghannam, SW. Hasan, B. Abu-Jdayil, N. Esmail, Rheological properties of heavy & light crude oil mixtures for improving flowability. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2012;81:122-8.
- [5] MB. Sadeghi, S AA. Ramazani, V. Taghikhani, C. Ghotbi, Experimental Investigation of Rheological and Morphological Properties of Water in Crude Oil Emulsions Stabilized by a Lipophilic Surfactant. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2013;34:356-68.
- [6] Mark W, Badger, Harold H, Schobert. Viscosity Reduction in Extra Heavy Crude Oils. The Laboratory for Hydrocarbon Process Chemistry the Energy Institute. 209 Academic Projects Building .The Pennsylvania State University University Park. Pennsylvania. 16802-2303.
- [7] Ravindra Kumar, Sambeet Mohapatra, Ajay Mandal, Tarun Kumar Naiya. Studies on the Effect of Surfactants on Rheology of Synthetic Crude. *Journal of Petroleum Science Research*. 2014;3:90-9.
- [8] MR. Khan. Rheological properties of heavy oils and heavy oil emulsions. *Energy Sour* 1996;18:385–91.
- [9] A. Koocheki, R. Kadkhodaei, SA. Mortazavi, F. Shahidi, AR. Taherian, Influence of *Alyssum homolocarpum* seed gum on the stability and flow properties of O/W emulsion prepared by high intensity ultrasound. *Food Hydrocolloid* 2009;23(8):2416–24.

- [10] El-Gamal .I.M, E.A.M. G. Low temperature rheological behavior of umbarka waxy crude and influence of flow improver. Oil & Gas Science and Technology. 1997;52:369-79.